

番茄种质资源萌发期抗旱性综合评价及筛选

马越^{1,2,3}, 李玉姗^{1,3}, 王帆^{1,3}, 许红军², 宋羽^{1,3}, 蒋程瑶⁴

(¹新疆农业科学院农作物品种资源研究所, 乌鲁木齐 830091; ²新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052;

³国家中亚特色作物种质资源中期库, 乌鲁木齐 830091; ⁴四川农业大学园艺学院, 成都 611130)

摘要: 番茄作为重要的蔬菜作物之一, 鉴定番茄种质资源的抗旱性及筛选抗旱番茄种质资源对番茄育种具有重要意义。本研究利用 12.5% PEG-6000 溶液对 92 份番茄种质资源进行干旱胁迫处理, 测定发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长等 6 个抗旱性相关指标, 运用相关性分析、主成分分析、隶属函数法和聚类分析进行番茄萌发期抗旱性评价及筛选。结果表明, 干旱胁迫下 6 个指标均显著降低, 其中活力指数和发芽势降低最大。通过主成分分析将 6 个指标转化为 2 个新指标, 累计贡献率达 86.657%。基于相关性和主成分分析, 筛选出发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数作为萌发期抗旱性鉴定的主要指标, 利用隶属函数法结合聚类分析将番茄种质资源分为 4 类, 其中抗旱型 19 份、较抗旱型 41 份、较敏感型 18 份、敏感型 14 份; 通过增大、减小 PEG-6000 溶液浓度, 进一步筛选出抗旱性强的密植红番茄和锦农矮秧两个品种, 敏感性强的北京早红和大红袍两个品种。本研究结果可为番茄种质资源的抗旱性研究提供理论基础。

关键词: 番茄; 萌发期; 抗旱性; 综合评价; 筛选

Comprehensive Evaluation and Screening of Drought Resistance of Tomato Germplasm Resources during Germination Period

MA Yue^{1,2,3}, LI Yushan^{1,3}, WANG Fan^{1,3}, XU Hongjun², SONG Yu^{1,3}, JIANG Chengyao⁴

(¹Institute of Crop Variety Resources, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091; ²College of Horticulture,

Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052; ³National Central Asian Characteristic Crop Germplasm Resources

Medium-term Gene Bank, Urumqi 830091; ⁴College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130)

Abstract: Tomato, being one of the important vegetable crops, holds great significance in evaluating the drought resistance of tomato germplasm resources and selecting drought-resistant varieties for tomato breeding. In this study, we subjected 92 tomato germplasm resources to drought stress treatment using a 12.5% PEG-6000 solution. Six drought-related indexes, including germination potential, germination rate, germination index, vigor index, root length and shoot length, were measured, and the drought resistance of tomato at germination stage was evaluated and screened by correlation analysis, principal component analysis, membership function method and cluster analysis. The results showed a significant reduction in all six indicators under drought stress, with the vigor index and germination potential being the most affected. Through principal component analysis, we transformed the six indicators into two new indicators, which contributed to a cumulative contribution rate of 86.657%. Based on correlation and principal component analysis, we identified germination potential,

收稿日期: 2023-11-16 网络出版日期: 2024-05-08

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231116001>

第一作者研究方向为番茄种质资源抗逆生理, E-mail: 1620103974@qq.com

通信作者: 宋羽, 研究方向为茄果类蔬菜种质资源栽培生理及设施栽培技术, E-mail: songyu150@163.com

蒋程瑶, 研究方向为蔬菜作物光环境生物学, E-mail: catherinejiang@126.com

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02005-2); 新疆蔬菜产业技术体系(XJARS-07); 四川省自然科学基金项目(2022NSFSC1759)

Foundation projects: Xinjiang Uygur Autonomous Region Major Science and Technology Project (2022A02005-2); Xinjiang Vegetable Industry Technology System (XJARS-07); Sichuan Provincial Natural Science Foundation Project(2022NSFSC1759)

germination rate, germination index, and vigor index as the main indicators for evaluating drought resistance during the germination period. By using the subordination function method combined with cluster analysis, we classified the tomato germplasm resources into four types, including 19 drought-resistant types, 41 relatively drought-resistant types, 18 relatively sensitive types, and 14 sensitive types. By adjusting the concentration of PEG-6000 solution, further screening of the drought-resistant varieties Mizhihong Tomato and Jinnongaiyang, as well as the sensitive varieties Beijingzaohong and Dahongpao can be conducted. These findings provide a theoretical basis for the study of drought resistance in tomato germplasm resources.

Key words: tomato; germination period; drought resistance; comprehensive evaluation; screen

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是全球茄果类蔬菜作物中栽培最广泛的种类之一^[1],其富含营养、风味独特且食用方式多样,深受广大群众的喜爱和青睐。番茄是一种喜温、喜湿、对光照要求高,也是一种需水量较大的植物。随着全球气候变暖,干旱气候灾害发生频繁,导致农业生产经济损失严重^[2],干旱导致作物的产量下降是其他所有非生物胁迫导致的作物产量下降的总和^[3]。种子萌发期是作物生命周期中一个至关重要的阶段,也是评估作物抗旱能力的重要节点。在种子萌发过程中,水分缺失可能导致萌发过程延缓,甚至导致种子无法正常萌发。在种子萌发阶段,作物的生长发育情况直接决定了其出苗率以及最终的产量品质。因此,对番茄种质资源进行抗旱性鉴定,筛选番茄优异抗旱种质资源,对于选育抗旱番茄品种和提高番茄种植效益具有重要意义。

PEG-6000作为一种广泛使用的渗透剂,在抗旱资源的筛选与评价中发挥了关键作用,如在水稻^[4]、大豆^[5]、小麦^[6]、棉花^[7]、番茄^[8]、辣椒^[9]等作物萌发期抗旱性鉴定及筛选实践中已得到广泛应用。岳瑶琴等^[10]对342份油菜种质资源萌发期抗旱性进行评价,筛选出20% PEG-6000为最适胁迫浓度,确定发芽指数为抗旱性评价指标。常利芳等^[11]结合主成分分析、隶属函数分析和相关分析对180份小偃麦衍生系种子萌发期抗旱性进行综合评价,筛选出11份抗旱性强的品种。张海平等^[12]采用16% PEG-6000溶液对568份大豆资源进行大豆种子萌发期耐旱鉴定,运用平均隶属函数评价法筛选出4份大豆耐旱种质。在番茄萌发期抗旱方面,彭玉梅等^[13]在6个不同的PEG-6000浓度胁迫下对3份加工番茄的抗旱性进行鉴定,根据隶属函数平均值综合评价抗旱性,鉴定出KT-16的抗旱性最强;梁玉芹等^[14]对8个番茄品种进行干旱胁迫处理,认为-0.2 MPa~-0.3 MPa水势,即120~150 g/kg的PEG-6000溶液可用于番茄萌发期耐旱性鉴定;宋红霞等^[15]采用5个

不同的PEG-6000浓度对3份番茄品种进行抗旱性评价,发现精品硬粉风暴的抗旱性最强。在已有研究中,对于大量材料的抗旱性评价一般采用最适PEG-6000浓度对材料进行抗旱性筛选,而少量材料的抗旱性评价多采用不同PEG-6000浓度进行筛选。本研究将两种方法结合,首先采用一个适宜PEG-6000浓度对全部番茄品种进行鉴定,在筛选出的品种基础上再采用不同PEG-6000浓度缩小筛选范围,最终得到优异种质资源,可为番茄抗旱品种选育及改良提供重要参考依据。

本研究以92份番茄种质资源为材料,以12.5% PEG-6000浓度模拟干旱胁迫处理,测定发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长和芽长等指标,利用综合评价方法对番茄种质资源萌发期抗旱性进行评价,筛选番茄萌发期抗旱相关指标,并利用17.5%、15.0%、10.0%、7.5% PEG-6000浓度再次处理筛选抗旱性强和敏感性强的番茄品种,旨在为抗旱种质资源筛选与抗旱番茄新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的92份番茄种质资源均由新疆农业科学院农作物品种资源研究所收集提供(表1),其中俄罗斯1份,乌兹别克3份,国内18个省(市、自治区)88份。国内种质资源中新疆的番茄种质资源有34份,FQ118番茄和FQ119红番茄来源于第三次全国农作物种质资源普查收集。番茄种质资源均经过一年以上更新繁殖,种子保存于农作物品种资源研究所国家中亚特色种质资源中期库。按照生长类型,92份番茄资源中无限生长类型57份、有限生长类型35份;按照叶型,复细叶型33份、复宽叶型48份、普通叶型48份、薯叶型2份;按照果型大小,大果型53份、中果型34份、小果型4份。92份番茄种质资源均未做过抗旱性鉴定。

表 1 92 份番茄种质资源信息及来源

Table 1 Information and sources of 92 tomato germplasm resources

序号 Number	品种名称 Variety name	来源 Origin	生长类型 Growth type	叶型 Leaf type	果型 Fruit type
1	疏研 11 号	中国北京	无限生长	复细叶型	大果型
2	BDCTOK	乌兹别克	有限生长	复宽叶型	大果型
3	新番 2 号	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复细叶型	中果型
4	甜美 2 号	中国北京	无限生长	普通叶型	小果型
5	梦特娇 1 号	中国北京	无限生长	复宽叶型	小果型
6	大黄一号	中国新疆石河子	无限生长	复宽叶型	中果型
7	北光	中国辽宁大连	无限生长	复宽叶型	大果型
8	比专	中国河南开封	无限生长	复细叶型	中果型
9	济南大粉	中国山东潍坊	无限生长	复细叶型	大果型
10	哈密黄柿子	中国新疆哈密	无限生长	复细叶型	大果型
11	桔黄佳辰	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复细叶型	大果型
12	罗马 2 号	中国新疆乌鲁木齐	有限生长	复细叶型	大果型
13	丰收黄柿子	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复宽叶型	大果型
14	池大仙	中国河南开封	无限生长	复细叶型	大果型
15	加比例	中国新疆昌吉	无限生长	复细叶型	中果型
16	真善美	中国新疆石河子	有限生长	普通叶型	中果型
17	查登早熟	中国河南开封	无限生长	普通叶型	大果型
18	红圆头	中国山西太原	无限生长	复宽叶型	中果型
19	丹麦	中国新疆伊犁	无限生长	复宽叶型	大果型
20	矮性花红	中国山西太原	有限生长	复宽叶型	大果型
21	早雀钻	中国浙江杭州	有限生长	普通叶型	大果型
22	金黄番茄	中国山东烟台	无限生长	复宽叶型	大果型
23	美大红	中国河北石家庄	有限生长	复宽叶型	大果型
24	秃尖粉	中国北京	无限生长	复细叶型	大果型
25	高比斯海尔舍木	中国山西太原	无限生长	普通叶型	大果型
26	阿沙克列	中国陕西咸阳	无限生长	复宽叶型	大果型
27	友谊	中国新疆石河子	有限生长	复宽叶型	大果型
28	华南 180	中国广东广州	无限生长	复宽叶型	大果型
29	绿顶	中国天津	无限生长	复细叶型	大果型
30	矮红金	中国江苏南京	有限生长	复细叶型	大果型
31	柳代早生	中国河南开封	无限生长	复细叶型	中果型
32	洋红番茄	中国上海	无限生长	复宽叶型	中果型
33	Rorkaiyefeb pufamhi	中国北京	有限生长	薯叶型	中果型
34	新丰 4 号	中国新疆乌鲁木齐	有限生长	复细叶型	大果型
35	小秧 3 号	中国湖北黄冈	无限生长	复宽叶型	大果型
36	苹果青	中国北京	无限生长	复细叶型	大果型
37	华南 462	中国湖北武汉	无限生长	复细叶型	大果型
38	牛奶	中国江西南昌	有限生长	复宽叶型	大果型

表 1 (续)

序号 Number	品种名称 Variety name	来源 Origin	生长类型 Growth type	叶型 Leaf type	果型 Fruit type
39	摩雷 33 号	中国辽宁大连	有限生长	复宽叶型	中果型
40	黔园	中国湖北黄冈	无限生长	复宽叶型	大果型
41	华南东粉	中国广东广州	有限生长	复细叶型	大果型
42	一片红	中国上海	无限生长	复宽叶型	中果型
43	粉红	中国湖南长沙	有限生长	复宽叶型	大果型
44	小平顶(红)	中国新疆石河子	无限生长	复细叶型	大果型
45	卡滨	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复细叶型	大果型
46	北碚	中国重庆	无限生长	复宽叶型	大果型
47	华南 3 号	中国江西南昌	无限生长	复细叶型	中果型
48	老宅矮红	中国天津	无限生长	复宽叶型	大果型
49	大红袍	中国甘肃兰州	无限生长	复细叶型	大果型
50	健康红	中国江西南昌	有限生长	薯叶型	大果型
51	天津大粉	中国天津	无限生长	复宽叶型	大果型
52	甘早黄柿子	中国新疆乌鲁木齐	有限生长	复细叶型	大果型
53	矮秧番茄	中国辽宁大连	有限生长	普通叶型	大果型
54	红塔番茄	中国江西南昌	有限生长	复宽叶型	中果型
55	锦农矮秧	中国天津	有限生长	复宽叶型	中果型
56	玛斯达 2 号	中国新疆喀什	有限生长	复宽叶型	大果型
57	格里克斯	中国天津	无限生长	复宽叶型	中果型
58	粉红自封顶	中国上海浦东	有限生长	复细叶型	中果型
59	北京早红	中国新疆喀什	有限生长	复细叶型	中果型
60	青口	中国北京	无限生长	复宽叶型	中果型
61	粉红甜肉	中国北京	无限生长	复宽叶型	中果型
62	荷兰 5 号	中国新疆石河子	有限生长	复宽叶型	中果型
63	北京 10 号	中国新疆伊犁	有限生长	复宽叶型	中果型
64	苏联番茄	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复宽叶型	中果型
65	北京中粉番茄	中国北京	有限生长	复宽叶型	大果型
66	6613 番茄	中国山东青岛	无限生长	普通叶型	中果型
67	大同红番茄	中国山西大同	无限生长	复宽叶型	中果型
68	保加利亚	中国新疆喀什	有限生长	复宽叶型	大果型
69	Nex3032	中国新疆乌鲁木齐	有限生长	复宽叶型	大果型
70	加工柿子	中国新疆库尔勒	有限生长	复宽叶型	中果型
71	密植红番茄	中国新疆石河子	无限生长	复宽叶型	中果型
72	BMAE	乌兹别克	无限生长	复细叶型	大果型
73	TMK_22	乌兹别克	有限生长	复宽叶型	大果型
74	Tyymmakam A Nnenmbeb	中国北京	有限生长	复宽叶型	大果型
75	红瓦伦特	中国北京	无限生长	复宽叶型	大果型
76	伊犁大洋柿子	中国新疆伊犁	无限生长	复细叶型	大果型
77	佳丰柿子	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复细叶型	中果型

表1(续)

序号 Number	品种名称 Variety name	来源 Origin	生长类型 Growth type	叶型 Leaf type	果型 Fruit type
78	强丰柿子	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复细叶型	中果型
79	二块子	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	复宽叶型	大果型
80	54-4柿子	中国新疆乌鲁木齐	有限生长	复宽叶型	大果型
81	1076番茄	中国新疆石河子	有限生长	复宽叶型	大果型
82	玛格罗博	俄罗斯	无限生长	复细叶型	大果型
83	早柿子	中国天津	无限生长	复细叶型	中果型
84	比松	中国江西南昌	有限生长	复宽叶型	中果型
85	早粉2号	中国新疆石河子	有限生长	复细叶型	大果型
86	FQ118番茄	中国新疆托克逊	有限生长	复宽叶型	中果型
87	FQ119红番茄	中国新疆托克逊	无限生长	复细叶型	中果型
88	番茄1号	中国山东济南	无限生长	复宽叶型	中果型
89	香妃7号	中国北京	无限生长	普通叶型	小果型
90	香妃3号	中国北京	无限生长	复细叶型	小果型
91	保加利亚4号	中国新疆喀什	无限生长	复宽叶型	大果型
92	money maker	中国新疆乌鲁木齐	无限生长	普通叶型	中果型

1.2 试验方法

前期试验通过8个PEG-6000浓度(2.5%、5.0%、7.5%、10.0%、12.5%、15.0%、17.5%、20.0%)模拟干旱胁迫处理,其中12.5%、15.0%、17.5% PEG-6000浓度抑制作用显著,20.0%浓度严重抑制,无番茄种子萌发。12.5% PEG-6000浓度下所有抗旱相关指标与对照相比均呈显著差异,能够明显区分种子萌发期不同番茄种质抗旱性差异。因此,本研究选择12.5% PEG-6000浓度模拟干旱胁迫。

在12.5% PEG-6000浓度下筛选出的抗旱型番茄品种,采用15.0% PEG-6000浓度进一步筛选出抗旱性强的番茄品种,再采用17.5% PEG-6000浓度对其进行筛选;在12.5% PEG-6000浓度下筛选出的敏感型番茄品种,采用10.0% PEG-6000浓度进一步筛选出敏感性强的番茄品种,再采用7.5% PEG-6000浓度对其进行筛选。

试验于2022年4-9月在新疆农业科学院农作物品种资源研究所的实验室进行。选择大小一致,颗粒饱满的番茄种子,用蒸馏水清洗2遍,再用55℃温水浸种15min,室温蒸馏水浸种6h后,均匀摆放在含有2层滤纸的一次性无菌培养皿中,加入6mL PEG-6000溶液,以蒸馏水处理作为对照(CK)。3次重复,每个重复30粒种子。将培养皿放置在25±1℃的种子发芽箱内避光培养,每2d向培养皿内加入2mL PEG-6000溶液,对照则加入等

量的蒸馏水,第4天开始统计萌发情况,以种子露出胚芽作为萌发开始的标志,第8天结束发芽试验。番茄萌发期相关指标计算方法如下,3个重复取平均。

发芽势(%)=第4天发芽的种子数/30×100%

发芽率(%)=第8天发芽的种子数/30×100%

发芽指数= $\sum(Gt/Dt)$,式中,Gt表示发芽开始后第t天的发芽数,Dt表示相应的发芽天数

活力指数=S×GI,式中,S表示胚根的长度,GI表示发芽指数

根长和芽长测定:采用根系扫描仪(WinRHIZO) LA-S根系分析系统测定幼苗根长和芽长。

1.3 数据分析

在各指标原始数据基础上,计算各指标的抗旱系数 X_i ,公式如下:

抗旱系数 X_i =各指标干旱处理测量值/对照测量值,其中i表示发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长等指标。

萌发期采用隶属函数法^[16]进行抗旱性综合评价,相关参数计算公式如下:

隶属函数值 $\mu(X_i)=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$

$i=1,2,\dots,n$

式中, X_i 表示第i个抗旱系数值, X_{\min} 表示第i个指标抗旱系数的最小值, X_{\max} 表示第i个指标抗旱系数的最大值,n为指标个数。

$$\text{权重 } W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad i=1, 2, \dots, n$$

式中, W_i 表示第*i*个指标在所有指标中的权重, P_i 为第*i*个指标的贡献率, n 为指标个数。

$$\text{综合评价值 } D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times W_i] \quad i=1, 2, \dots, n$$

式中, D 为番茄抗旱性综合评价值, n 为指标个数。

利用 Excel 2019 统计、整理原始数据并制作相关图表, 运用 SPSS 26.0 软件进行数据分析, 利用 Origin 2022 软件进行聚类分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对番茄种子萌发的影响

采用 12.5% PEG-6000 溶液对 92 份番茄种质进行干旱胁迫处理, 对番茄萌发期各指标进行差异分析, 如表 2 所示, 萌发期 6 个指标的均值都有不同程度的下降, 特别是活力指数和发芽势, 分别较对照组下降 71.38% 和 67.34%, 表明干旱胁迫抑

制了番茄种子的萌发和生长, 且对各指标的影响有差异。PEG-6000 处理组各测定指标的变异系数均大于对照组, 其中发芽势的变化幅度最大, 比对照组增加 34.43%。对各测定指标进行 *t* 检验差异显著性分析, 处理组与对照组间均表现极显著差异 ($P < 0.01$), 表明 6 个指标均受干旱胁迫影响且对干旱胁迫响应不同。

2.2 萌发期各指标抗旱系数的相关性分析

对番茄萌发期 6 个指标的抗旱系数和综合评价 D 值进行相关性分析, 如图 1 所示, 发芽势与发芽率、发芽指数、活力指数呈极显著正相关, 其中与发芽指数相关性最大, 相关系数为 0.960; 发芽率与发芽指数、活力指数均呈现极显著正相关, 相关系数为 0.906、0.701, 发芽指数与活力指数呈极显著正相关, 相关系数为 0.812, 活力指数与根长、芽长均呈极显著正相关, 相关系数为 0.434、0.494, 根长与芽长呈极显著正相关, 相关系数为 0.563。综合评价 D 值与 6 个指标均呈极显著正相关。

表 2 萌发期抗旱性各指标差异分析

Table 2 Analysis of differences in drought resistance indicators during germination period

处理 Treatments	指标 Index	发芽势 (%) GP	发芽率 (%) GR	发芽指数 GI	活力指数 VI	根长 (cm) RL	芽长 (cm) BL
对照 Control	最大值	98.38	98.88	11.50	80.24	8.67	7.27
	最小值	50.11	62.66	2.66	6.05	2.67	2.72
	平均值	67.61	81.01	7.15	44.10	5.97	5.77
	标准差	12.18	9.20	2.40	16.38	1.08	0.94
	变异系数 (%)	18.74	11.49	33.62	37.14	18.11	16.35
PEG-6000 处理 PEG-6000 stress	最大值	77.33	86.66	8.75	80.26	7.56	5.07
	最小值	2.20	6.80	0.50	0.13	0.38	0.50
	平均值	32.05	52.51	4.37	22.96	5.10	3.28
	标准差	17.37	20.07	1.97	12.93	0.99	0.87
	变异系数 (%)	53.17	39.46	45.24	56.34	19.51	26.53
较对照变化 Comparison with the control	平均值 (%)	-67.34	-46.93	-62.00	-71.38	-41.17	-54.88
	变异系数 (%)	34.43	27.97	11.62	19.20	1.40	10.18
	<i>t</i> 检验	25.42	16.45	18.59	17.70	7.61	35.58
	<i>P</i> 值	0**	0**	0**	0**	0**	0**

P 值: 处理组与对照组 *t* 测验的 *P* 值; ** 表示极显著差异 ($P < 0.01$); 下同

P-value: The *P*-value of the treatment and control *t*-test; ** showed extremely significant difference ($P < 0.01$); GP: Germination potential; GR: Germination percentage; GI: Germination index; VI: Vitality index; RL: Root length; BL: Bud length; The same as below

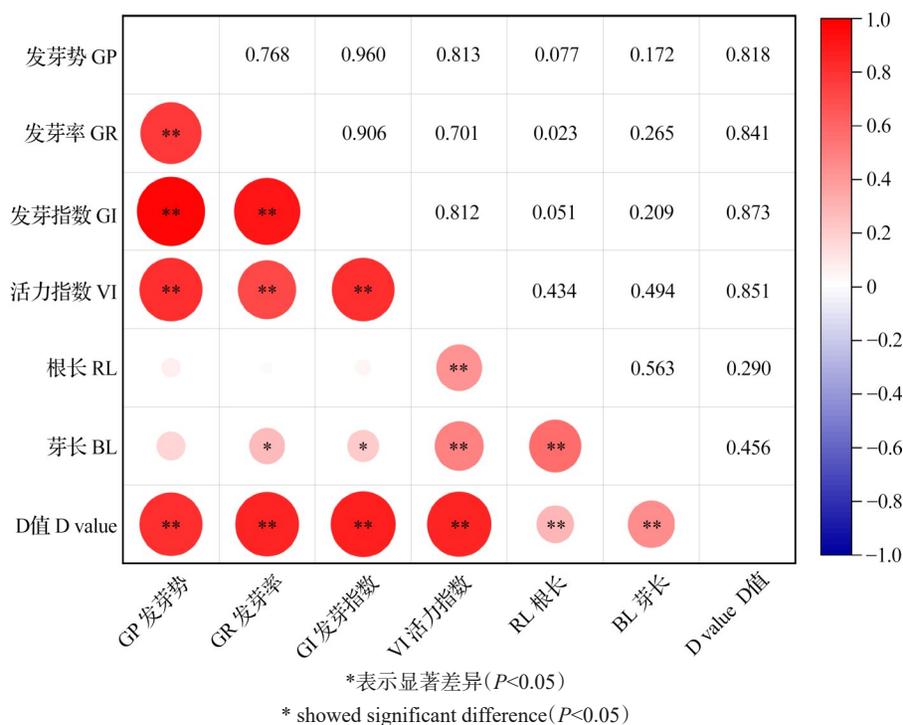


图1 番茄种质资源萌发期抗旱指标抗旱系数与D值的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between drought resistance coefficient and D value of drought resistance index at germination stage of tomato germplasm resources

2.3 萌发期各指标抗旱系数的主成分分析

对番茄萌发期6个指标的抗旱系数进行主成分分析(表3),共提取到2个主成分。2个主成分累积贡献率达86.657%,表明这2个主成分代表了番茄萌发期干旱胁迫所测指标的大部分信息,可作为2个相互独立的新指标来反应番茄萌发期的抗旱性。其中主成分1的特征值为3.672,贡献率为61.192%,以发芽指数、活力指数、发芽势和发芽率为主,特征值分别为0.950、0.930、0.915、0.877;主成分2的特征值为1.528,贡献率为25.464%,以根长和芽长为主,特征值分别为0.852、0.738。结合相关性分析,选取发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标。

2.4 番茄萌发期的抗旱性综合评价

结合隶属函数法进一步对番茄抗旱性进行综合分析(表4),综合评价D值的范围在0.241~0.856。根据92份番茄种质资源的综合评价D值,采用系统分类法进行聚类分析(图2),92份番茄种质资源可分为4类,第I类为抗旱型,包括丰收黄柿子、密植红番茄、1076番茄、强丰柿子等番茄种质共19份,D值在0.688~0.856;第II类为较抗旱型,包括北京10号、

洋红番茄、粉红甜肉等番茄种质共41份,D值在0.499~0.673;第III类为较敏感型,包括伊犁大洋柿子、甜美2号、天津大粉等番茄种质共18份,D值在0.387~0.486;第IV类为敏感型,包括黔园、丹麦、北京早红、粉红自封顶、大同红番茄等番茄种质共14份,D值在0.241~0.371。

表3 主成分特征向量及贡献率

Table 3 Principal component eigenvectors and contribution rates

指标 Index	主成分1 PC 1	主成分2 PC 2
发芽指数 GI	0.950	-0.293
活力指数 VI	0.930	0.176
发芽势 GP	0.915	-0.273
发芽率 GR	0.877	-0.258
根长 RL	0.299	0.852
芽长 BL	0.455	0.738
特征值 Eigenvalue	3.672	1.528
贡献率(%) Contribution rate	61.192	25.464
累积贡献率(%) Cumulative contribution rate	61.192	86.657

表 4 92 份番茄资源的 D 值及抗旱分类

Table 4 D value and drought resistance classification of 92 tomato resources

排名 Ranking	品种 Variety	D 值 D value	分类 Classification	排名 Ranking	品种 Variety	D 值 D value	分类 Classification	排名 Ranking	品种 Variety	D 值 D value	分类 Classification
1	Nex3032	0.856	I	32	玛斯达 2 号	0.610	II	64	伊犁大洋柿子	0.470	III
2	密植红番茄	0.805	I	33	华南 180	0.604	II	65	FQ119 红番茄	0.465	III
3	梦特娇 1 号	0.797	I	34	华南 3 号	0.593	II	66	红圆头	0.458	III
4	保加利亚	0.794	I	35	华南东粉	0.590	II	67	北光	0.455	III
5	阿沙克列	0.785	I	36	友谊	0.585	II	68	健康红	0.441	III
6	桔黄佳辰	0.780	I	37	荷兰 5 号	0.584	II	69	早柿子	0.434	III
7	早粉 2 号	0.772	I	38	金黄番茄	0.581	II	70	二块子	0.429	III
8	红塔番茄	0.763	I	39	FQ118 番茄	0.573	II	71	小秧 3 号	0.425	III
9	强丰柿子	0.762	I	40	玛格罗博	0.571	II	72	绿顶	0.410	III
10	丰收黄柿子	0.751	I	41	佳丰柿子	0.569	II	73	美大红	0.401	III
11	锦农矮秧	0.745	I	42	济南大粉	0.565	II	74	甜美 2 号	0.397	III
12	BMAE	0.738	I	43	北京 10 号	0.561	II	75	天津大粉	0.394	III
13	Tyymmakam A	0.729	I	44	疏研 11 号	0.559	II	76	苹果青	0.390	III
	Nnenmbeb			45	番茄 1 号	0.557	II	77	新丰 4 号	0.389	III
14	1076 番茄	0.723	I	46	洋红番茄	0.552	II	78	摩雷 33 号	0.387	III
15	比专	0.711	I	47	池大仙	0.546	II	79	真善美	0.371	IV
16	加工柿子	0.700	I	48	查登早熟	0.542	II	80	黔园	0.366	IV
17	红瓦伦特	0.698	I	49	小平顶(红)	0.539	II	81	华南 462	0.360	IV
18	哈密黄柿子	0.692	I	50	卡滨	0.537	II	82	北京中粉番茄	0.356	IV
19	粉红	0.688	I	51	香妃 7 号	0.530	II	83	丹麦	0.349	IV
20	青口	0.673	II	52	牛奶	0.529	II	84	Rorkaiyefeb	0.346	IV
21	加比例	0.661	II	53	老宅矮红	0.524	II		pufamhi		
22	苏联番茄	0.660	II	54	粉红甜肉	0.522	II	85	比松	0.339	IV
23	TMK_22	0.658	II	55	矮秧番茄	0.517	II	86	格里克斯	0.331	IV
24	一片红	0.657	II	56	北碚	0.513	II	87	北京早红	0.315	IV
25	甘早黄柿子	0.644	II	57	大黄一号	0.511	II	88	柳代早生	0.311	IV
26	矮性花红	0.634	II	58	money maker	0.508	II	89	大同红番茄	0.297	IV
27	早雀钻	0.631	II	59	新番 2 号	0.502	II	90	6613 番茄	0.274	IV
28	54-4 柿子	0.625	II	60	香妃 3 号	0.499	II	91	粉红自封顶	0.266	IV
29	秃尖粉	0.620	II	61	罗马 2 号	0.486	III	92	大红袍	0.241	IV
30	保加利亚 4 号	0.619	II	62	BDCTOK	0.481	III				
31	矮红金	0.612	II	63	高比斯海尔舍木	0.478	III				

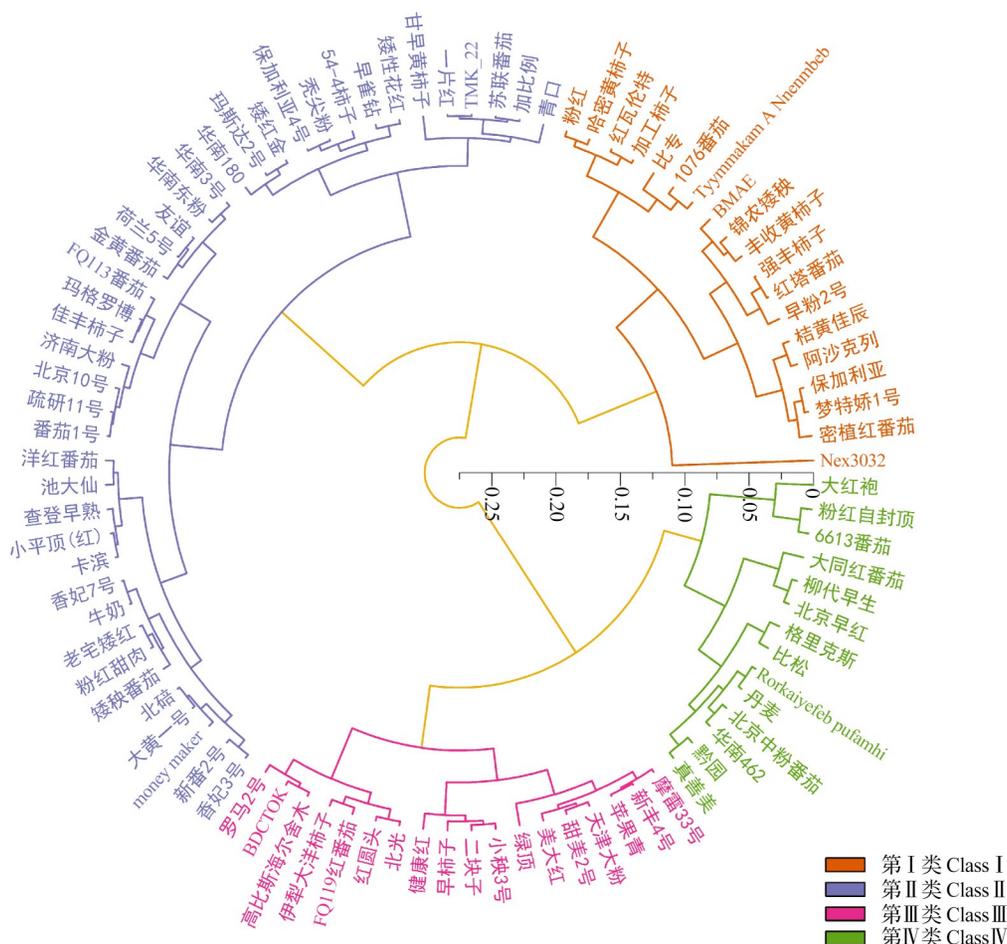


图2 92份番茄种质资源聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 92 tomato germplasm resources

2.5 番茄萌发期抗旱和敏感品种筛选

2.5.1 抗旱型品种筛选 12.5% PEG-6000 浓度下筛选出 19 份抗旱型番茄种质资源,为了筛选抗旱性更强的番茄资源,采用 15.0% PEG-6000 浓度进行筛选,并运用隶属函数法进行综合评价分析。如表 5 所示,在 15.0% PEG-6000 浓度处理下,19 份番茄种

质资源综合评价 D 值变化范围在 0.005~0.827,根据 D 值聚类分析,19 份番茄种质资源可分为 3 类,第 1 类共 6 个品种,D 值的变化范围为 0.467~0.827;第 2 类共 8 个品种,D 值变化范围在 0.235~0.404;第 3 类共 5 个品种,D 值变化范围在 0.005~0.193。

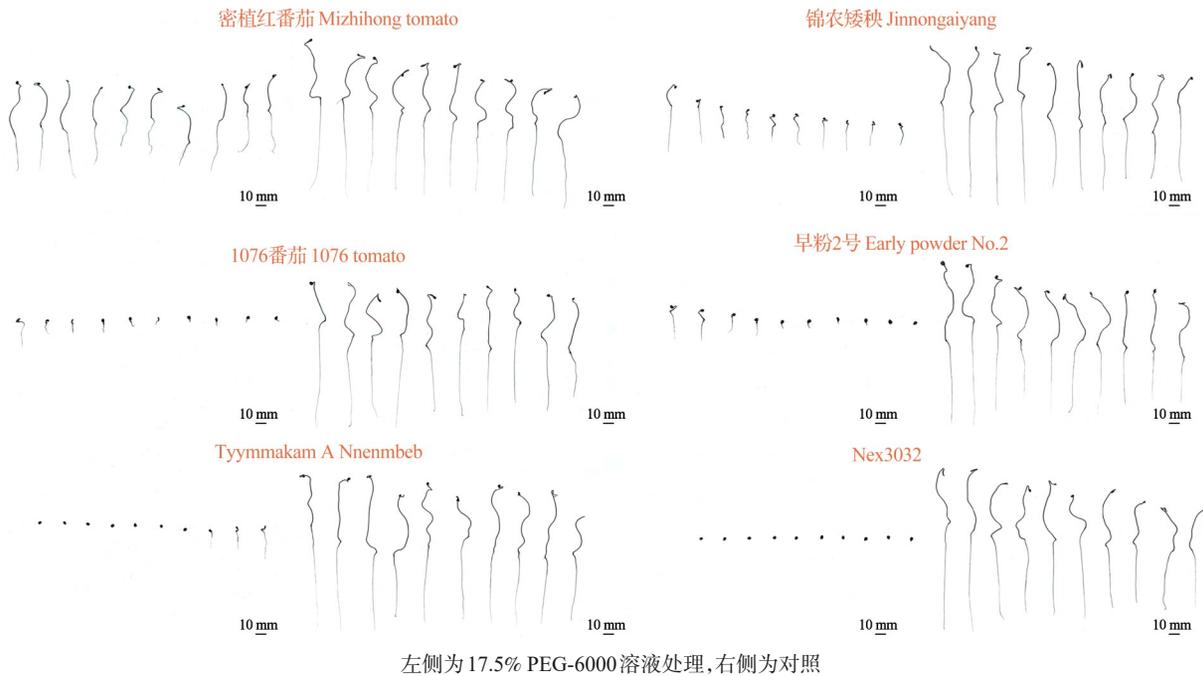
表5 15.0% PEG-6000 浓度处理的 19 份番茄种质资源抗旱鉴定结果

Table 5 Drought resistance identification results of 19 tomato germplasm resources treated with 15% PEG-6000 concentration

抗旱分类 Drought resistance classification	D 值范围 D value range	个数 Number	平均 D 值 Average D value	抗旱类型 Drought resistance type	品种名称 Variety name
第 1 类 Class 1	0.467~0.827	6	0.591	强	锦农矮秧、密植红番茄、1076 番茄、早粉 2 号、Tyymmakam A Nnenmbek、Nex3032
第 2 类 Class 2	0.235~0.404	8	0.309	中	丰收黄柿子、加工柿子、桔黄佳辰、梦特娇 1 号、阿沙克列、红塔番茄、强丰柿子、BMAE
第 3 类 Class 3	0.005~0.193	5	0.117	弱	红瓦伦特、保加利亚、粉红、哈密黄柿子、比专

第1类的6份番茄种质资源分别为密植红番茄、锦农矮秧、1076番茄、早粉2号、Tyymmakam A Nnenmbek、Nex3032,将6份番茄种质资源进一步用17.5% PEG-6000浓度处理筛选(图3),其中密植红

番茄和锦农矮秧两个品种生长情况较好。密植红番茄和锦农矮秧的综合评价D值分别为0.919和0.711(图4),而Nex3032番茄在17.5% PEG-6000浓度处理下无发芽种子,D值为0。



左侧为17.5% PEG-6000溶液处理,右侧为对照
The left side is treated with 17.5% PEG-6000 solution, and the right side is the control

图3 17.5% PEG-6000处理的6份番茄生长对比
Fig.3 Growth comparison of 6 tomato varieties treated with 17.5% PEG-6000

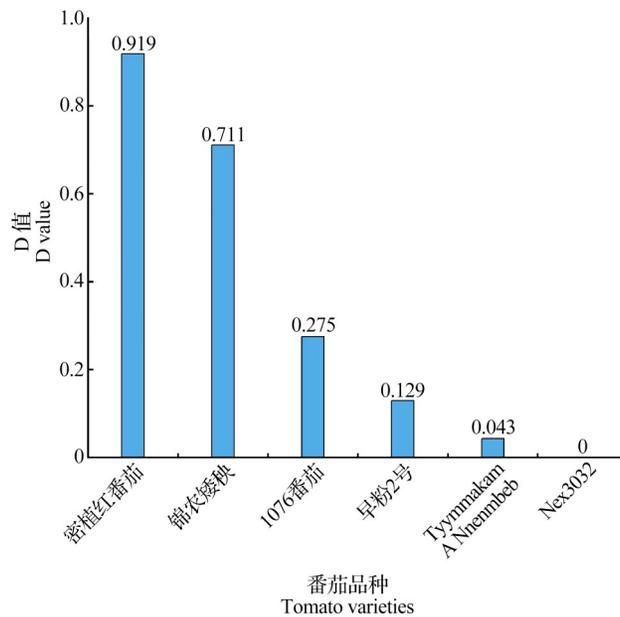


图4 17.5% PEG-6000浓度处理下6份番茄品种的D值变化
Fig. 4 Changes in D values of 6 tomato varieties under 17.5% PEG-6000 concentration treatment

2.5.2 敏感型品种筛选 12.5% PEG-6000 浓度下筛选出 14 份敏感型番茄种质资源,为了筛选敏感性更强的番茄种质资源,采用 10.0% PEG-6000 浓度进行筛选,并运用隶属函数法进行综合评价分析。如

表 6 所示,在 10.0% PEG-6000 浓度处理下,根据 D 值可将 14 份番茄种质资源分为 2 类,第 1 类共 6 个品种,D 值变化范围在 0.586~0.884;第 2 类共 8 个品种,D 值的变化范围在 0.135~0.443。

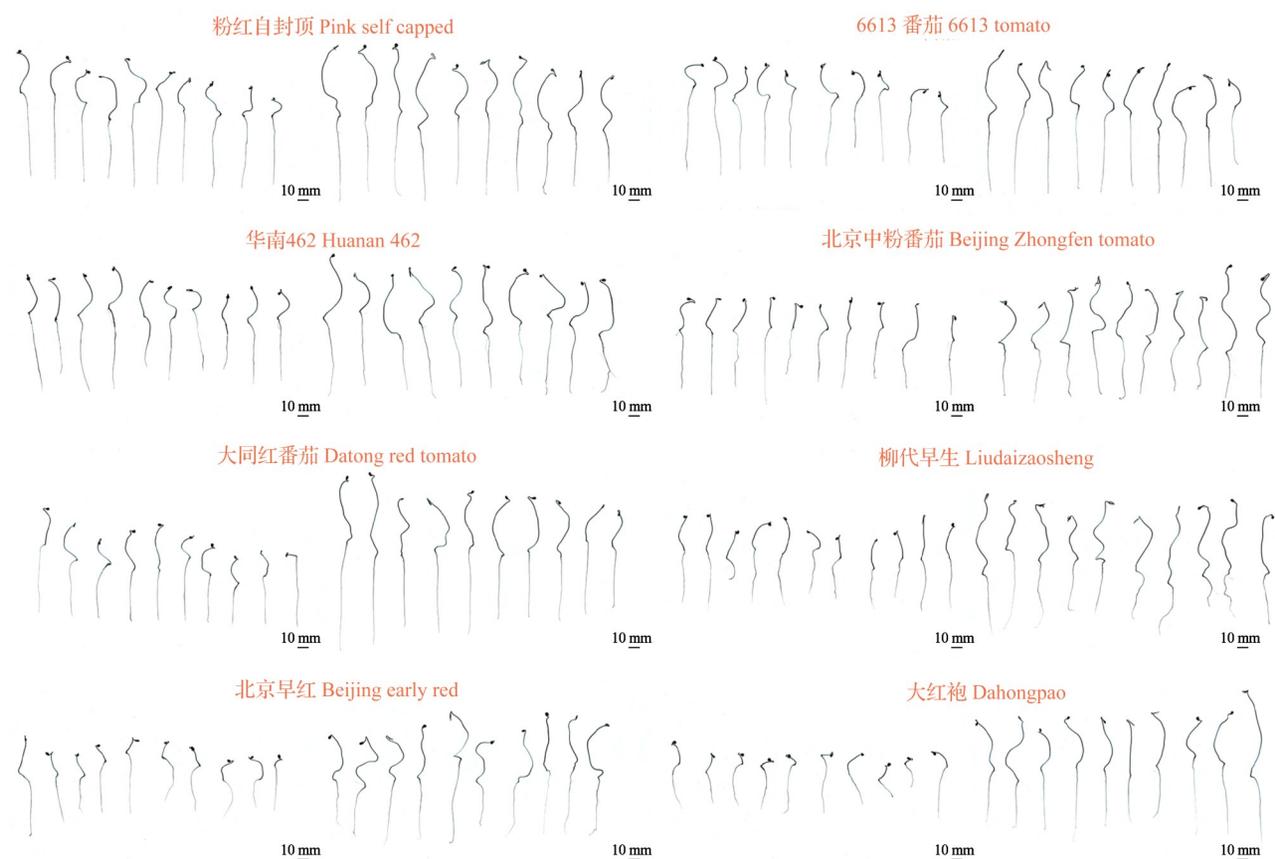
表 6 10.0% PEG-6000 浓度处理的 14 份番茄种质资源抗旱鉴定

Table 6 Drought resistance identification of 14 tomato germplasm resources treated with 10.0% PEG-6000 concentration

抗旱分类 Drought resistance classification	D 值范围 D value range	个数 Number	平均 D 值 Average D value	抗旱类型 Drought resistance type	品种名称 Variety name
第 1 类 Class 1	0.586~0.884	6	0.733	弱	黔园、格里克斯、比松、Rorkaiyefeb pufamhi、真善美、丹麦
第 2 类 Class 2	0.135~0.443	8	0.348	强	北京中粉番茄、柳代早生、粉红自封顶、 大同红番茄、北京早红、华南 462、6613 番 茄、大红袍

第 2 类中 8 份番茄种质资源分别为粉红自封顶、6613 番茄、华南 462、北京中粉番茄、大同红番茄、柳代早生、北京早红、大红袍,将 8 份番茄种质资源进一步用 7.5% PEG-6000 浓度处理筛选(图 5),其

中北京早红和大红袍两个品种生长受到抑制明显。北京早红和大红袍两个品种的综合评价 D 值分别为 0.262 和 0.012(图 6)。



左侧为 7.5% PEG-6000 溶液处理,右侧为对照

The left side is treated with 7.5% PEG-6000 solution, and the right side is the control

图 5 7.5% PEG-6000 处理的 8 份番茄生长对比

Fig. 5 Growth comparison of 8 tomato varieties treated with 7.5% PEG-6000

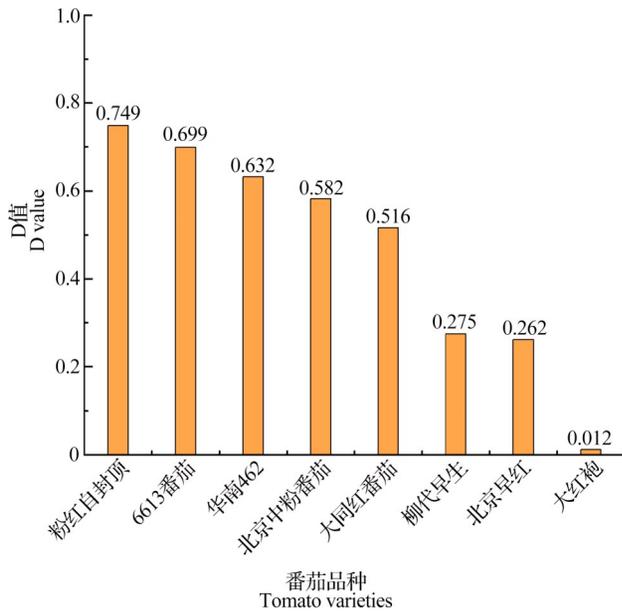


图6 7.5% PEG-6000 浓度处理下8份番茄品种的D值变化
Fig. 6 Changes in D values of 8 tomato varieties under 7.5% PEG-6000 concentration treatment

3 讨论

番茄种子受到干旱胁迫会严重影响种子的萌发。PEG-6000 溶液模拟干旱易于操作,可重复性好,被广泛运用于作物的抗旱性鉴定与筛选^[17]。在作物抗旱性评价中萌发期是不可或缺的关键阶段之一。已有研究显示,不同作物在萌发期对抗旱性的表现特征存在显著差异,这导致了相应的评价指标也各有不同,因此,合理选择相关指标对抗旱性鉴定至关重要。侯文慧等^[18]对不同基因型饲用高粱萌发期的抗旱性进行鉴定,将发芽指数和发芽率作为抗旱性评价指标;周国彦等^[19]发现相对发芽势、相对发芽率、萌发抗旱指数、胁迫指数以及活力抗旱指数可作为评价旱黄瓜抗旱性的指标;王焱等^[20]认为根长、发芽率和活力指数可作为苜蓿种质资源萌发期抗旱指标;李翠等^[21]认为活力指数可作为番茄种子萌发期的抗旱鉴定指标。本研究通过相关性分析和主成分分析比较番茄萌发期抗旱性相关的6个指标,发现各指标之间存在不同程度的相关性,其中发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数相互之间均呈极显著正相关,均与综合评价D值极显著正相关,且相关性强,结合主成分分析中主要以发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数为主,贡献率达到61.192%,因此认为发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标。这一结论与李翠等^[21]的研究结论有部分一致,

与前任对其他作物的抗旱性研究结论基本一致,但也存在一定差异,说明不同作物的抗旱性存在一定的种属特异性。

作物抗旱性是一个复杂数量性状,受多种因素影响,且不同作物具有不同的抗旱机制。单一指标评价体系在评估作物抗旱性时存在局限性,无法准确、全面地反映其真实抗旱性。为提高抗旱性鉴定的准确性和可靠性,本研究采用了综合评价的方法。Wei等^[22]通过隶属函数法、相关性分析和聚类分析筛选出2个抗旱性较强的水稻品种长梗616和绥梗18;樊瑀等^[23]通过相关性分析、隶属函数和聚类分析、逐步回归分析对谷子萌发期进行抗旱性综合评价,最终将35份谷子品种分为4级;李丹丹等^[24]对向日葵苗期抗旱性进行评价,基于综合评价D值筛选出抗旱性最强的为K58,最弱的是B112。本研究结合相关性分析、主成分分析、隶属函数法和聚类分析等方法来综合评价番茄种质资源萌发期抗旱性,与前任研究方法基本一致,并根据萌发期抗旱性相关的6个指标,利用隶属函数法得到综合评价D值,与李丹丹等^[24]研究的方法一致,最后用综合评价D值进行聚类分析,将92份番茄种质资源分为4类。本研究采用多个指标和综合评价方法分析92份番茄种质资源萌发期的抗旱性,对番茄抗旱育种研究有重要意义。

作物在不同PEG-6000浓度胁迫下的表现有较大差异,彭玉梅等^[13]和宋红霞等^[15]研究发现随着PEG-6000浓度的增大,对番茄种子萌发的抑制作用也越大,且在不同浓度胁迫下各品种的变化幅度也有差异,进而筛选出抗旱性强的品种。本研究在12.5% PEG-6000浓度胁迫下鉴定92份番茄种质资源抗旱性,筛选出19份抗旱型种质和14份敏感型种质。按照果型,19份抗旱型番茄种质资源中有大果型番茄12份、中果型番茄6份、小果型番茄1份,14份敏感型番茄种质资源有大果型番茄5份、中果型番茄9份。为筛选出抗旱性优异的番茄种质,进一步通过15.0%和17.5% PEG-6000浓度筛选出密植红番茄和锦农矮秧2份抗旱优异种质,综合评价D值分别为0.919和0.711。通过7.5%和10.0% PEG-6000浓度筛选出北京早红和大红袍2份敏感种质,综合评价D值分别为0.262和0.012。通过增大筛选浓度进一步筛选出抗旱性强的番茄品种,减小筛选浓度筛选出敏感性强的番茄品种,能够对筛选出的番茄品种抗旱性有更准确的鉴定,为深入开展抗旱机制研究和挖掘新的抗旱基因奠定基础。通过筛选出

的品种相关的果实性状,能够更清楚地了解品种特性,为今后开展番茄抗旱新品种选育提供依据。

4 结论

本研究通过综合评价方法对92份番茄种质资源萌发期抗旱性进行评价,筛选出发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数等指标作为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标,根据综合评价D值进行聚类分析将92份番茄种质资源划分4类,其中抗旱型19份、较抗旱型41份、较敏感型18份、敏感型14份。此外,本研究筛选出番茄萌发期抗旱性强的密植红番茄和锦农矮秧,敏感性强的北京早红和大红袍。

参考文献

- [1] 孙永珍,贺靖,魏芳,杨伟健.“十三五”我国番茄产业发展及其国际竞争力评价.中国瓜菜,2023,36(1):112-116
Sun Y Z, He J, Wei F, Yang W J. Evaluation of the development and international competitiveness of China's tomato industry during the 13th Five-Year Plan period. Chinese Melons and Vegetables, 2023, 36 (1): 112-116
- [2] 姚晔.干旱气候对农业生产的影响及气象服务对策探析.南方农机,2021,52(6):68-69
Yao Y. The impact of arid climate on agricultural production and the countermeasures of meteorological services. South China Agricultural Machinery, 2021, 52(6):68-69
- [3] Soufiane L, Abdelilah M, Raja B L, Abdelkader O, Luigi P. Subsurface water retention technology promotes drought stress tolerance in field-grown tomato. Energies, 2022, 15(18):6807
- [4] 张娟伟,石亚飞,路旭平,杨文伟,田蕾,李培富,张振海,罗成科.种子萌发期粳稻种质资源耐旱性综合评价.核农学报,2022,36(11):2093-2103
Zhang J W, Shi Y F, Lu X P, Yang W W, Tian L, Li P F, Zhang Z H, Luo C K. Comprehensive evaluation of drought tolerance of japonica rice germplasm resources during seed germination period. Journal of Nuclear Agriculture, 2022, 36 (11): 2093-2103
- [5] Zhao X Z, Liu Z X, Li H H, Zhang Y J, Yu L L, Qi X S, Gao H W, Li Y H, Qiu L J. Identification of drought-tolerance genes in the germination stage of soybean. Biology, 2022, 11(12): 1812
- [6] 张芳,颜安,任毅,杨卫君,耿洪伟.新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评价.植物遗传资源学报,2019,20(1):100-112
Zhang F, Yan A, Ren Y, Yang W J, Geng H W. Comprehensive evaluation of drought resistance during the germination period of winter wheat in Xinjiang. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(1): 100-112
- [7] 石有太,李忠旺,陈玉梁,冯克云,王红梅,刘新星.不同陆地棉基因型抗旱性评价与抗旱丰产种质筛选.植物遗传资源学报,2020,21(3):625-636
Shi Y T, Li Z W, Chen Y L, Feng K Y, Wang H M, Liu X X. Evaluation of drought resistance and screening of drought resistant and high-yield germplasm for different genotypes of upland cotton. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (3): 625-636
- [8] 彭玉梅.盐旱对加工番茄芽苗生理特性的影响及耐盐旱指标筛选研究.石河子:石河子大学,2014
Peng Y M. The effect of salt and drought on the physiological characteristics of processed tomato sprouts and the screening of salt and drought tolerance indicators. Shihezi: Shihezi University, 2014
- [9] 廖博通,陈琳,唐可兰,文明英,刘剑眉,韩蓉.PEG模拟干旱胁迫下辣椒种子萌发特性及抗旱性评价.中国瓜菜,2022,35(3):64-69
Liao B T, Chen L, Tang K L, Wen M Y, Liu J M, Han R. PEG simulation of pepper seed germination characteristics and drought resistance evaluation under drought stress. Chinese Melon and Vegetable, 2022, 35 (3): 64-69
- [10] 岳瑶琴,赵彤,余青兰,徐亮,李开祥,赵志刚.342份油菜种质资源抗旱性评价研究.青海大学学报,2023,41(2):29-36,55
Yue Y Q, Zhao T, Yu Q L, Xu L, Li K X, Zhao Z G. Evaluation of drought resistance of 342 rapeseed germplasm resources. Journal of Qinghai University, 2023, 41 (2): 29-36, 55
- [11] 常利芳,乔彦玮,陈芳,乔麟轶,郭慧娟,李欣,张树伟,畅志坚,张晓军.小偃麦衍生系萌发期和成株期抗旱性综合评价.植物遗传资源学报,2023,24(5):1321-1333
Chang L F, Qiao Y W, Chen F, Qiao L Y, Guo H J, Li X, Zhang S W, Chang Z J, Zhang X J. Comprehensive evaluation of drought resistance of Xiaoyan wheat derived lines during germination and adult stages. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24 (5): 1321-1333
- [12] 张海平,张俊峰,陈妍,张海生,闫凯,穆志新.大豆种质资源萌发期耐旱性评价.植物遗传资源学报,2021,22(1):130-138
Zhang H P, Zhang J F, Chen Y, Zhang H S, Yan K, Mu Z X. Evaluation of drought tolerance of soybean germplasm resources during germination period. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22 (1): 130-138
- [13] 彭玉梅,石国亮,崔辉梅.PEG-6000模拟干旱胁迫下不同加工番茄种子萌发期抗旱性评价.种子,2013,32(7):44-49
Peng Y M, Shi G L, Cui H M. Evaluation of drought resistance of different processed tomato seeds during germination period under simulated drought stress using PEG-6000. Seed, 2013, 32 (7): 44-49
- [14] 梁玉芹,曹彩霞,刘云,宋炳彦.番茄种子萌发期耐旱性鉴定指标的研究.华北农学报,2010,25(S1):117-120
Liang Y Q, Cao C X, Liu Y, Song B Y. A study on drought tolerance identification indicators during tomato seed germination period. North China Agricultural Journal, 2010, 25 (S1): 117-120

- [15] 宋红霞, 张利虎, 李梅兰, 侯雷平, 张毅, 郑少文, 聂红玫. 通过发芽特性和果实品质鉴定番茄耐旱性的研究. 江西农业学报, 2021, 33 (2): 22-26
Song H X, Zhang L H, Li M L, Hou L P, Zhang Y, Zheng S W, Nie H M. A study on identifying tomato drought resistance through germination characteristics and fruit quality. Jiangxi Agricultural Journal, 2021, 33 (2): 22-26
- [16] 白云飞, 孙贵先, 李珊珊, 刘昊东, 赵思航, 张树华, 赵勇, 杨学举. 不同小麦品种(系)的抗旱性评价. 河北农业大学学报, 2019, 42 (5): 1-7
Bai Y F, Sun G X, Li S S, Liu H D, Zhao S H, Zhang S H, Zhao Y, Yang X J. Evaluation of drought resistance of different wheat varieties (lines). Journal of Hebei Agricultural University, 2019, 42 (5): 1-7
- [17] 孟雨. 干旱胁迫对小麦生长的影响及品种抗旱性鉴定方法研究. 郑州: 河南农业大学, 2022
Meng Y. Study on the effects of drought stress on wheat growth and methods for identifying drought resistance of wheat varieties. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2022
- [18] 候文慧, 张玉霞, 陈卫东, 孙明雪, 郭园, 丛百明, 杜晓艳. 饲用高粱品种种子萌发期抗旱性筛选. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2021, 36 (1): 67-72
Hou W H, Zhang Y X, Chen W D, Sun M X, Guo Y, Cong B M, Du X Y. Screening of drought resistance during seed germination of forage sorghum varieties. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Science Edition, 2021, 36 (1): 67-72
- [19] 周国彦, 谢洋, 邢雨蒙, 银珊珊, 闫立英, 武春成. 33份旱黄瓜种子萌发期抗旱性鉴定. 中国瓜菜, 2023, 36 (3): 92-97
Zhou G Y, Xie Y, Xing Y M, Yin S S, Yan L Y, Wu C C. Identification of drought resistance during germination of 33 dry cucumber seeds. Chinese Melon and Vegetable, 2023, 36 (3): 92-97
- [20] 王焱, 沙柏平, 李明雨, 李雪, 高雪芹, 伏兵哲. 苜蓿种质资源萌发期抗旱指标筛选及抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (3): 598-609, 623
Wang Y, Sha B P, Li M Y, Li X, Gao X Q, Fu B Z. Screening of drought resistance indicators and comprehensive evaluation of drought resistance during the germination period of alfalfa germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20 (3): 598-609, 623
- [21] 李翠, 梁燕, 张纪涛, 罗雷. 渗透胁迫对番茄种子萌发特性的影响. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (2): 173-179
Li C, Liang Y, Zhang J T, Luo L. The effect of osmotic stress on the germination characteristics of tomato seeds. Agricultural Research in Arid Areas, 2011, 29 (2): 173-179
- [22] Wei X L, Cang B F, Yu K, Li W C, Tian P, Han X, Wang G, Di Y T, Wu Z H, Yang M Y. Physiological characterization of drought responses and screening of rice varieties under dry cultivation. Agronomy, 2022, 12 (11): 2849
- [23] 樊瑀, 董淑琦, 原向阳, 杨雪萍, 姚翔, 郭平毅, 杨雪芳. 谷子种质资源萌发期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选. 中国农业大学学报, 2022, 27 (6): 42-54
Fan Y, Dong S Q, Yuan X Y, Yang X P, Yao X, Guo P Y, Yang X F. Comprehensive evaluation of drought resistance and screening of drought resistance indicators during the germination period of millet germplasm resources. Journal of China Agricultural University, 2022, 27 (6): 42-54
- [24] 李丹丹, 石慧敏, 伊六喜, 王艳霞, 周佳岭, 侯建华. 向日葵苗期抗旱指标筛选及抗旱性评价. 分子植物育种, <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1068.S.20230524.1501.020.html>
Li D D, Shi H M, Yi L X, Wang Y X, Zhou J L, Hou J H. Screening of drought resistance indicators and evaluation of drought resistance in sunflower seedlings. Molecular Plant Breeding, <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/46.1068.S.20230524.1501.020.html>